BIM 技术在深基坑施工课程教学中的应用

饶平平[1] 张筱骏男[1] 张朝阳[2]

（1. 上海理工大学土木工程系，上海 200093；2. 上海同筑信息科技有限公司，上海 200090）

【摘 要】深基坑施工课程教学中存在许多难以表达的施工进度模拟过程。BIM 技术具有三维可视化和信息集成管理等优势。将其引入到深基坑施工课程教学中，介绍整个课程的目标和课程组织形式，基于 BIM 技术构建施工进度管理中的应用框架体系和流程，且在背景工程的基础上，建立 4D 深基坑模型并生成施工模拟动画，对深基坑施工课程教学进行了一定的创新实践，使学生能更加直观生动理解并掌握深基坑施工的进度管理体系与施工流程。

【关键词】BIM 技术；深基坑施工；课程；教学
【中图分类号】TU411；TP391.9 【文献标识码】A 【文章编号】1674－7461(2017)05－0079－05
【DOI】10.16670/j.cnki.cn11－5823/tu.2017.05.14

1 引言

深基坑工程是一项涉及众多专业的系统工程，其施工条件复杂多变，受现场地质条件与施工场地影响极大。传统基坑工程施工的教学过程中常常出现很多难以避免的问题，例如构件错位、设计疏漏、协调困难以及开挖对原先地下管线的影响等无法直观形象得表现出来[1]。深基坑施工课程教学过程中的关键，是要让学生直观地了解基坑施工的地下空间结构，掌握如何制定施工进度计划，通过 4D 模拟技术如何指导现场施工[2]。

目前国际上新兴的 BIM(Building Information Modeling)技术已经成为建筑领域的研究热点，并得到了高度关注和广泛认可[3]。BIM 是以信息集成为基础[4]，建立具有完整信息的三维数据模型，完成深基坑施工的进度计划管理，实现深基坑工程的虚拟施工，极大程度提高协调沟通和经验分享的效率，从而可以大大缩短工程周期，降低施工成本。本文对 BIM 技术在深基坑工程教学中的应用作了相关探索研究。张尚等[5-6]基于美国高校的 BIM 教学改革成果探讨了 BIM 课程的教学目标和课程设置模式，提出了 BIM 教学改革的规划。钟炜等[7]在工程项目管理课程中的应用 BIM 可视化仿真技术，对该课程的教学改革进行了探索和实践。尚春静等[8]借鉴了国外高校的经验，分析了 BIM 技术与目前部分专业课程结合的可行性。因此，作者考虑将 BIM 技术的信息集成以及三维可视化等优点应用到深基坑工程施工的课程教学中。

本文基于 BIM 技术在深基坑工程施工中的应用，对深基坑工程的地下空间以及施工工艺进行漫游展示，同时构建了深基坑施工进度管理的流程。结合背景工程，利用 Revit 建立 BIM 三维模型。在此基础上，利用 4D 集成平台 Navisworks 软件关联时间这一维度形成基坑 4D 模型，对虚拟施工技术应用实践进行了研究探索，对进度计划和关键工序进行 4D 模拟，生成基坑三维施工模拟动画[9]。实现大型深基坑项目施工过程的可视化演示，使学生更加直观地学习理解相关教学内容，活跃课堂气氛，有效提高教学水平。

2 深基坑施工课程内容介绍

深基坑施工是地下施工课程中重要的一部分

【基金项目】 上海理工大学教师教学发展研究重点项目(CFTD17011Z)；上海市浦东新区城市建设科技委资助项目“BIM 及有限元技术在深基坑开挖工程中的应用研究”(项目编号：11)
【作者简介】 饶平平(1984－)，男，博士，副教授，主要从事岩土力学、BIM 技术教学与科研工作。

内容,是一门综合性、实践性很强的学科。由于 BIM 技术已经成为基坑工程领域的研究热点,作者有了将 BIM 引入课程教学中的想法。基坑施工的地下空间结构复杂,很难用语言或图片形象地展示,但 BIM 软件可以建立极具表现性的三维可视化信息模型,能对构件进行三维展示,对地下空间进行实时漫游,对深基坑施工流程进行模拟演示,在学生学习效果上取得了较好的反响。

本课程不仅涉及传统深基坑的支护技术形式以及施工工艺,参照了我国深基坑工程的技术规范,还提出了如今逐渐发展成熟的 BIM 技术在深基坑工程中的应用。课程内容主要包括:深基坑的基本设计方法、深基坑各支护工程特点、基坑工程施工技术、土层锚杆的构造、侧向土压力的计算、BIM 技术的基本概念和发展趋势、BIM 软件介绍与建模,深基坑施工进度计划管理,深基坑施工模拟。由于本课程涉及的知识面相对较广,既要求学生掌握深基坑常用支护类型,学习各支护形式的计算方法,又要了解 BIM 技术并使用三维建模软件对深基坑工程进行建模,掌握构建整个施工进度管理体系并对深基坑工程进行 4D 过程模拟。因此不能局限于传统的课堂授课形式,要采用更为综合的方式让学生对该课程的知识点有全方位的了解。故而教学还要结合 BIM 课程设计展开,通过课程设计,使学生具备通过 BIM 软件对深基坑进行建模,设计深基坑支护形式,模拟施工过程的能力。提高学生在实际工程中运用 BIM 技术发现问题并解决问题的能力,最终提升学生的专业竞争力[10]。

3 深基坑工程三维构件与地下空间演示

3.1 三维构件的建立与演示

为了使学生更清晰直观地了解深基坑施工中各类大型施工机械以及复杂的地下管线网络等,开发了 Unity3D 三维构件模型显示模块,主要可以展示类似于桩机,挖掘机,塔吊等施工机械,地下管线网络与地下停车场等模型。通过将 Unity3D 和 VisualStudio 软件引擎嵌入 WinForm 应用程序中,打开 COM 组件,选中 UnityWebPlayer Control 打开后即可使用,模块可以实现对三维施工机械及地下管线的平移旋转等操作,能够方便学生从多个角度进行观察使用,等到了学生的广泛认可。模块使用界面如图 1 所示。

3.2 地下空间漫游演示

由于大部分学生并没有在深基坑施工现场的亲身经历,很难对实际开挖时的地下空间有一个理性的认识。Navisworks 是一款可以将多专业的模型统一集成的软件平台,能够快速创建动画和视点,基于 Navisworks 开发地下空间漫游模块,将其嵌入 WinForm 应用程序中,为了简化界面,去除 Navisworks 中不必要的功能,将漫游,重力计算,三维旋转等功能集成在 WinForm 中,使模块运行更顺畅使用更方便,后期可以统一整合到教学演示系统中。可以让学生在虚拟空间或道路上的漫步。观看结构施工的工艺流程,对该学科研究的对象记忆更加深刻。如图 2 所示。

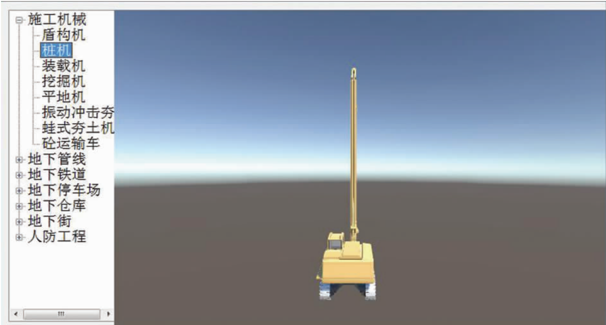


图 1 基于 Unity3D 的施工机械模型演示

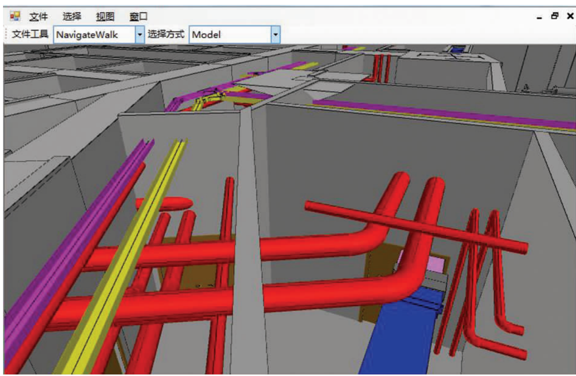


图 2 地下空间漫游演示

3.3 施工工艺演示

深基坑各支护施工工艺与流程需要更为形象的表现形式,例如悬臂式支护结构,混合支护结构,双排桩支护结构,重力式挡墙结构,如果只是文字讲述与图片展示,学生并不能对每一种支护结构的施工工艺与施工流程有较为深刻的印象。数字动画模拟视频是非常有效的表现形式,可以对各施工工艺采用 3dmax 建模,并将施工现场拍摄的视频与

数字动画集成到程序中，使用 Windows Media Player 控件并借助云渲染平台制作 Flash 二维动画，这种动画对计算机要求较低，所占用的计算资源较少，而且也能够有效表达施工工艺流程，如图 3 所示。在教学实践中大大提升了教学效率，得到了广大学生的充分认可。



图 3　深基坑施工工艺演示

4　基于 BIM 技术的深基坑施工进度管理教学中的应用

作者平时授课发现，大部分学生对基坑施工进度管理的概念很模糊，因此利用 BIM 技术以及三维模型对基坑工程进度计划制定、调整与变更都有一定辅助作用。为了使学生更加直观的理解基坑施工进度管理流程，基于 BIM 思想以及可视化技术，提出了集成 4D 技术和过程模拟的基坑施工管理方法。在基坑进度管理中的应用主要通过 4D 虚拟施工来实现，技术路线如图 4 所示。

具体进度管理教学流程如下：

(1)确定建模标准和交付标准，通过 BIM 三维模型设计软件进行基坑项目 BIM 模型的建立。

(2)根据项目的资源限制和总工期需求，编制工程项目的进度计划，并应用进度管理优化方法，进行工期优化，得到项目优化工期和优化进度计划。

(3)根据项目的进度计划，按施工顺序对 BIM 三维模型中的对应构件关联上时间以形成 4D 模型。

(4)根据各方建议与意见，调整 4D 模型和进度计划，生成最终施工模拟方案与进度计划表。

通过软件平台将 BIM 模型数据整理统计，可核算出各阶段所需的人员、材料、机械用量，方便材料部门及工程部门为各阶段工作做好充分的准备。

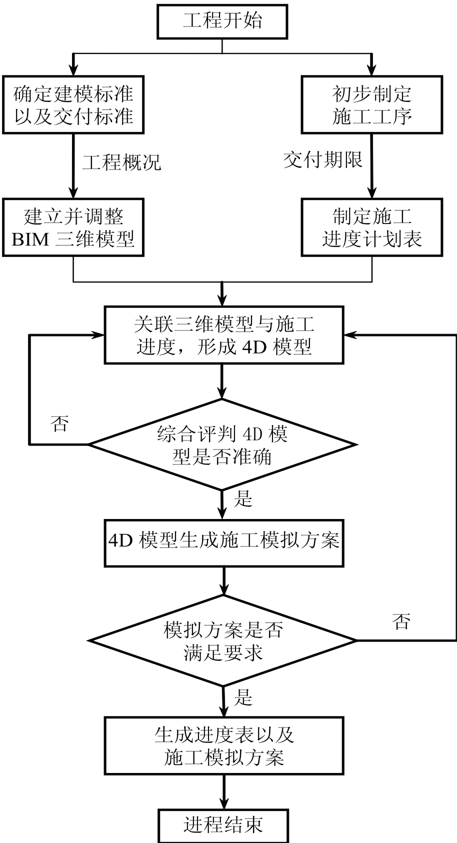


图 4　深基坑施工进度管理教学流程图

同时可以通过实际施工进度情况与 4D 虚拟施工进行比较，当现场施工情况与进度预测有偏差时，及时调整并采取相应的措施[11]。让学生充分理解在实际工程中是如何对深基坑施工的进度计划进行管理。

5　基于 BIM 技术的深基坑施工进度模拟演示

基坑 BIM 三维模型是展现基坑空间位置的实体模型，是建立 4D 模型的基础。目前市场上的 BIM 核心建模软件是 Autodesk 公司的 Revit 软件，Revit 软件应用面最广，使用人数最多，其包含了建筑、结构、机电方面的建模功能，软件使用起来较为方便直观[12]。本文背景工程某地块面积 22 436m^2，开挖深度达到 15.3m，属超大型深基坑工程；基坑工程安全等级为一级。基坑开挖的影响范围比较大，应对大基坑的变形控制以及基坑的分块施工等予以充分考虑。，选用 Revit 建立基坑三维模型，模型最宽处为 168m，最长处为 175m，挖深为 15.3m。基坑三维模型如图 5 所示。

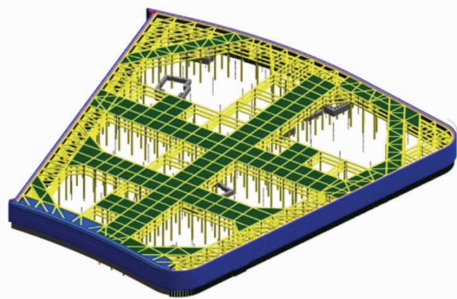


图 5　深基坑 BIM 三维模型

4D 施工进度的模拟能显示施工现场布局及施工空间条件,合理分配所需的各类设施设备,能够对实际进度与计划进度进行对比分析,实现安全高效并按期生产[13]。由于大部分学生没有亲临过施工现场,很难对地下施工的空间概念有深刻真实的理解。本文利用 Navisworks 软件创建时间信息并与 3D 模型关联进行 4D 模拟,合理调度现场场地变更,按要求分配施工所需的各类设施设备。让学生能更为直观地看到施工进度模拟的流程。

根据基坑 4D 模型可以对基坑施工过程进行模拟,准确地反映施工过程的实际情况,对施工过程建模、处理资源分配并进行冲突检测,从根本上确保工程质量和进度。本文通过对基坑开挖各个阶段对应的基坑形态进行施工模拟,使学生能更加深刻直观得了解掌握整个基坑施工的流程,以下为基坑各阶段施工进度模拟过程。

进度一:基坑整体开挖进程达到 30%,围护施工已完成 40%,地下连续墙施工完成,降水井施工开始准备,基坑前方两块三角形区域正在进行土方开挖。如图 6 所示。

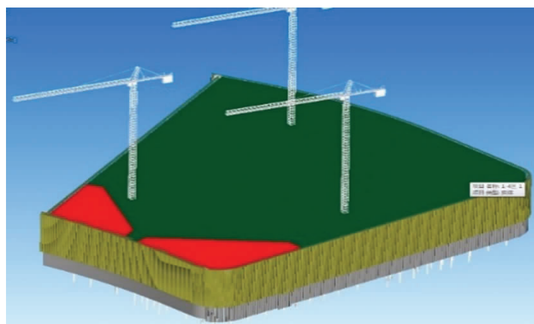


图 6　基坑模拟开挖进度一

进度二:基坑整体开挖进程达到 55%,围护施工已完成 65%,降水井施工完成,基坑第一层开挖已完成 68%,第二层开挖完成 35%。如图 7 所示。

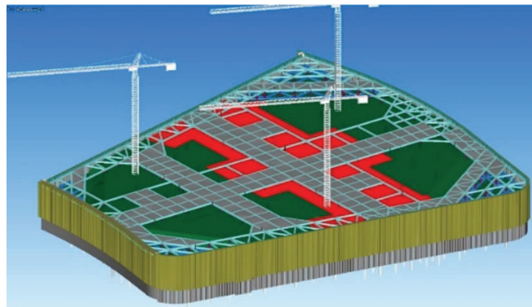


图 7　基坑模拟开挖进度二

进度三:基坑整体开挖进程达到 75%,围护施工已完成 90%,基坑第三层开挖完成 47%。如图 8 所示。

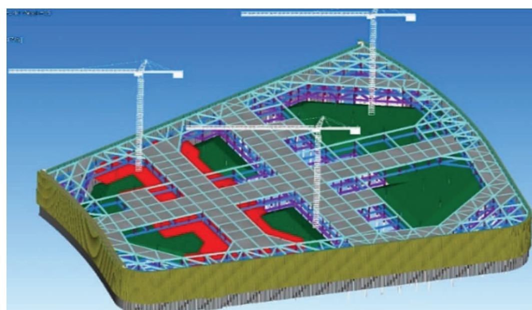


图 8　基坑模拟开挖进度三

进度四:基坑整体开挖进程达到 90%,围护施工已完成 95%,基坑收底完成 20%,即将完成基坑整体施工。如图 9 所示。

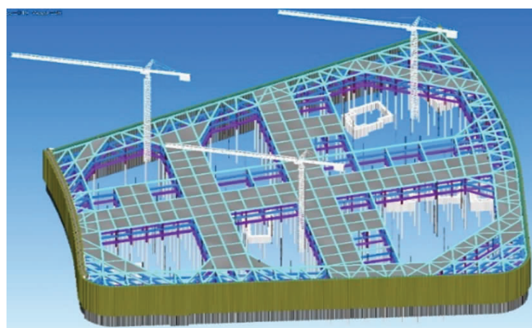


图 9　基坑模拟开挖进度四

通过以上施工过程模拟,可以让学生对基坑开挖的全过程有非常清晰直观的了解。同时根据 4D 模型的进度模拟生产施工进度计划表,有效且合理地安排并调整施工进度计划,并且可以实时掌握工程建设实际情况,直观得将施工计划与实际进展进行对比,从而制定更为合理的基坑施工进度计划,让学生掌握 BIM 技术在施工进度管理中的应用。

6 结语

（1）随着 BIM 技术逐渐发展与推广，专业 BIM 人才的需求也越来越大，高校作为社会人才输出的重要基地，其中解决 BIM 人才缺乏的关键在于高校的 BIM 教学改革。在高校的部分传统课程中融入 BIM 这一要素不仅可以有效培养相关专业的 BIM 人才，同时大大增强毕业生就业的核心竞争力。

（2）BIM 技术在基坑施工的教学方面可以分为课堂教学，专家讲座与课程设计三个阶段。每个阶段让学生掌握的核心重点依次递进，有效得让学生全方位掌握 BIM 技术的概念以及其在基坑施工过程当中的应用。

（3）基于 BIM 技术对基坑施工进度管理应用流程和施工进度模拟作了较为详细的阐述，通过生成施工管理进度流程表以及基坑开挖的虚拟动画，让学生结合实际工程了解 BIM 技术在基坑施工中的应用点，注重理论与实践相结合，有效提高学生的学习兴趣，提高整体教学效率。

参考文献

[1] 慕冬冬，付晶晶，胡正欢，等. BIM 技术在深基坑工程设计中的应用[J]. 施工技术，2015，(S1)：773-776.
[2] 潘珂. 基于 BIM 技术深基坑工程信息化施工管理平台研究[D]. 广西大学，2014.
[3] 张建平，李丁. BIM 在工程施工中的应用[J]. 施工技术，2012，41(371)：10-17.
[4] 程建华，王辉. 项目管理中 BIM 技术的应用于推广[J]. 施工技术，2012，41(371)：18-21.
[5] 张尚，任宏. BIM 的工程管理教学改革问题研究（一）——基于美国高校的 BIM 教育分析[J]. 建筑经济，2015，36(1)：113-116.
[6] 张尚，任宏. BIM 的工程管理教学改革问题研究（二）——BIM 教学改革的作用、规划与建议[J]. 建筑经济，2015，36(2)：92-96.
[7] 钟炜，张馨文等，BIM 仿真在工程项目管理课程教学改革中的应用研究[J]. 土木建筑工程信息技术，2013，5(6)：7-11.
[8] 尚春静，李艳荣. 基于 BIM 的工程管理专业理论课程与实践教学创新研究[J]. 建筑经济，2015，36(9)：129-132.
[9] 刘欣，基于 BIM 的大型建设项目进度计划与控制体系研究[D]. 山东建筑大学，2013.
[10] 刘红勇，何维涛. 普通高等院校 BIM 实践教学路径探索[J]. 土木建筑工程信息技术，2013，5(5)：98-101.
[11] 赵彬，王友群，牛博生. 基于 BIM 的 4D 虚拟建造技术在工程项目进度管理中的应用[J]. 建筑经济，2011 (9) 93-95.
[12] 梁艳. 基于 BIM 的实时模型在施工中的应用研究[D]. 南昌大学，2014.
[13] 吴清平，时伟. 超大深基坑 BIM 施工全过程模拟与分析研究[J]. 工程建设，2013，45(5)：20-24.

Application of BIM Technology in the Teaching of Deep Excavation Construction

Rao Pingping[1], Zhang Xiaojunnan[1], Zhang Chaoyang[2]

(1. *Department of Civil Engineering*, *University of Shanghai for Science and Technology*, *Shanghai* 20093, *China*; 2. *Shanghai Tongzhu Information and Technology Co.*, *Ltd.*, *Shanghai* 200090, *China*)

Abstract: For the teaching of deep excavation construction, there are many simulation processes of construction progress that are difficult for expression. The BIM technology possessesmany advantages including 3D visualization and information management integration. This paper applies the BIM technology in the teaching of deep foundation pit construction, and introduces theobjectives and the organization form of the course. The BIM technology is applied to establish the framework and process of construction schedule management, and to builda 4D deep excavation model andtogenerate construction simulation animation with the background engineering. Some practices have been organized for the innovation of the teaching of deep excavation construction course, which promote the students to understand and master the progress management system and the construction process of deep excavation construction more intuitively and vividly.

Key Words: BIM Technology; Deep Excavation Construction; Course; Teaching